

Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú)

Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú)

Sandra Villacorta^{1*}, Miguel Llorente², Luis Laín², Lionel Fidel¹, José Machare¹, Victor Carlotto¹

RESUMEN

La cuenca Llaminchán se ubica en la Cordillera Occidental del norte del Perú, dentro de la región Cajamarca. El análisis mediante Sistemas de Información Geográfica del cartografiado e inventario de movimientos de ladera, topografía, litología e hidrogeología efectuado en la cuenca Llaminchán, ha permitido obtener el mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera donde se observa que las zonas con mayor susceptibilidad se encuentran al noreste de la ciudad de San Pablo, el flanco sur del cerro Callancas, el sector norte del poblado Santa Ana, la parte alta del sector Pueblo Libre-El Naranjo y la zona comprendida entre Chilate y la mina Paredones. Esta información, será presentada a las autoridades y a la población de la región que comprende la zona de estudio, para su aplicación en la planificación territorial y en los planes de prevención frente a los desastres naturales.

Palabras clave: Movimientos de ladera, Susceptibilidad, Cartografiado, Inventario.

ABSTRACT

The Llaminchan basin is located in the Western Cordillera of northern of Peru, within the Cajamarca region. The analysis using Geographic Information Systems of the mapping and inventory of slope movements, the topography, litology, hydrogeology applied to the Llaminchan Basin, allows obtaining the map of susceptibility to slope movements. It is show that the zones with greater susceptibility are to the northeast of San Pablo, the southern flank of the Callancas Hill, the northern sector of Santa Ana, the high area of Pueblo Libre-El Naranjo zone, and the zone between Chilate and the Paredones mine. This information will be presented to the authorities and population of the region that include the Llaminchan basin for their application in the territorial planning and the plans of prevention by natural disasters.

Keywords: Slope movements, Susceptibility, Mapping, Inventory.

¹ INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima-Perú.

² IGME, Ríos Rosas 23, Madrid-España.

* Master Internacional Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales - RED DESIR. E-mail: svillacorta@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó como parte del “Estudio Geoambiental de la cuenca hidrográfica del Jequetepeque”, trabajo ejecutado por el INGEMMET, gracias al apoyo del Instituto Geológico Minero y metalúrgico de Perú (INGEMMET) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME); en el marco del Master internacional “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales” proyecto del Programa “América Latina – Formación Académica” (ALFA) avalado por la Red Desarrollo Sostenible-Ingeniería-Recursos Naturales (DESIR).

Se eligió estudiar los movimientos de ladera en la cuenca hidrográfica Llaminchán, por existir antecedentes que señalan que esta zona ha sido afectada principalmente por fenómenos de este tipo. Dicha cuenca se encuentra enmarcada en la región de Cajamarca, en la provincia de San Pablo ocupando parte de los distritos de San Pablo y San Bernardino (figura 1).

Los movimientos de ladera son los proceso mediante los cuales material que conforma una ladera se movilizan pendiente abajo principalmente por gravedad (Cruden y Varnes, 1996) existiendo cuatro órdenes: simples, complejos, volcánicos y submarinos (Ayala-Carcedo y Olcinas, 2002).

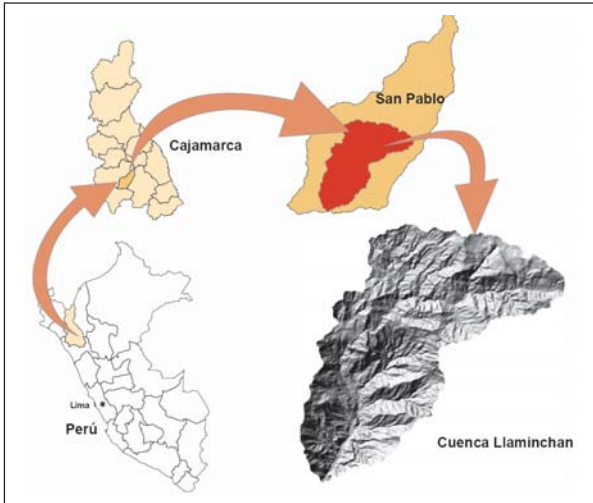


Figura 1. Ubicación de la cuenca Llaminchán.

Los movimientos simples son aquellos con un solo tipo de movimiento o proceso característico. Se clasifican a su vez en dos familias: *movimientos con fase aérea* por los cuales un volumen de material

desciende en caída libre, saltando o rodando a lo largo de una ladera (Cruden y Varnes, 1996) como los desprendimientos, rebotes, rodaduras y desplores y *movimientos con fase terrestre* por los cuales un volumen de material descende a lo largo de una ladera generalmente de pendientes media a baja diferenciándose los que tienen superficie de ruptura (deslizamientos) y los que no tienen superficie de ruptura (reptación y flujos).

Los movimientos complejos son aquellos fenómenos con más de un tipo de movimiento o proceso característico. Consisten en movimientos sucesivos o simultáneos de una misma masa ligados causalmente. Cuando se trata de movimientos que desencadenan otros que se incorporan a la masa inicial se llaman movimientos complejos concatenados. Los movimientos volcánicos, son aquellos fenómenos en cuyo desencadenamiento intervienen fenómenos propios como vapor, explosiones, expulsión de metano, etc. los movimientos de ladera submarinos son generados en el fondo marino. Se producen a consecuencia de la inestabilidad de material en pendientes submarinas o por movimientos sísmicos

OBJETIVO

El objetivo de este artículo es presentar los resultados del análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca Llaminchán.

MARCO GENERAL

La cuenca hidrográfica Llaminchán tiene una extensión de 115 km² y está situada al norte de Perú en la provincia de San Pablo, región Cajamarca.

La topografía es abrupta en casi toda la cuenca salvo en la parte alta, límite norte de la cuenca donde es suave. Las altitudes varían desde los 800 hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Los principales centros poblados de la zona de estudio son Chilete, San Pablo y San Bernardino. Chilete, ubicado en la provincia de Contumaza a 110 km al este de Pacasmayo, es la capital del distrito del mismo nombre y se localiza en el eje de la carretera Cajamarca-Pacasmayo; en la desembocadura de la cuenca Llaminchán. San Pablo, capital del distrito y provincia del mismo nombre, se ubica al suroeste de la ciudad de Cajamarca, a 25 km de Chilete y a 200 km de la ciudad de Chiclayo. San Bernardino, capital del distrito del mismo nombre (provincia de San Pablo), se ubica al suroeste de la ciudad de San Pablo, a 15 km de Chilete.

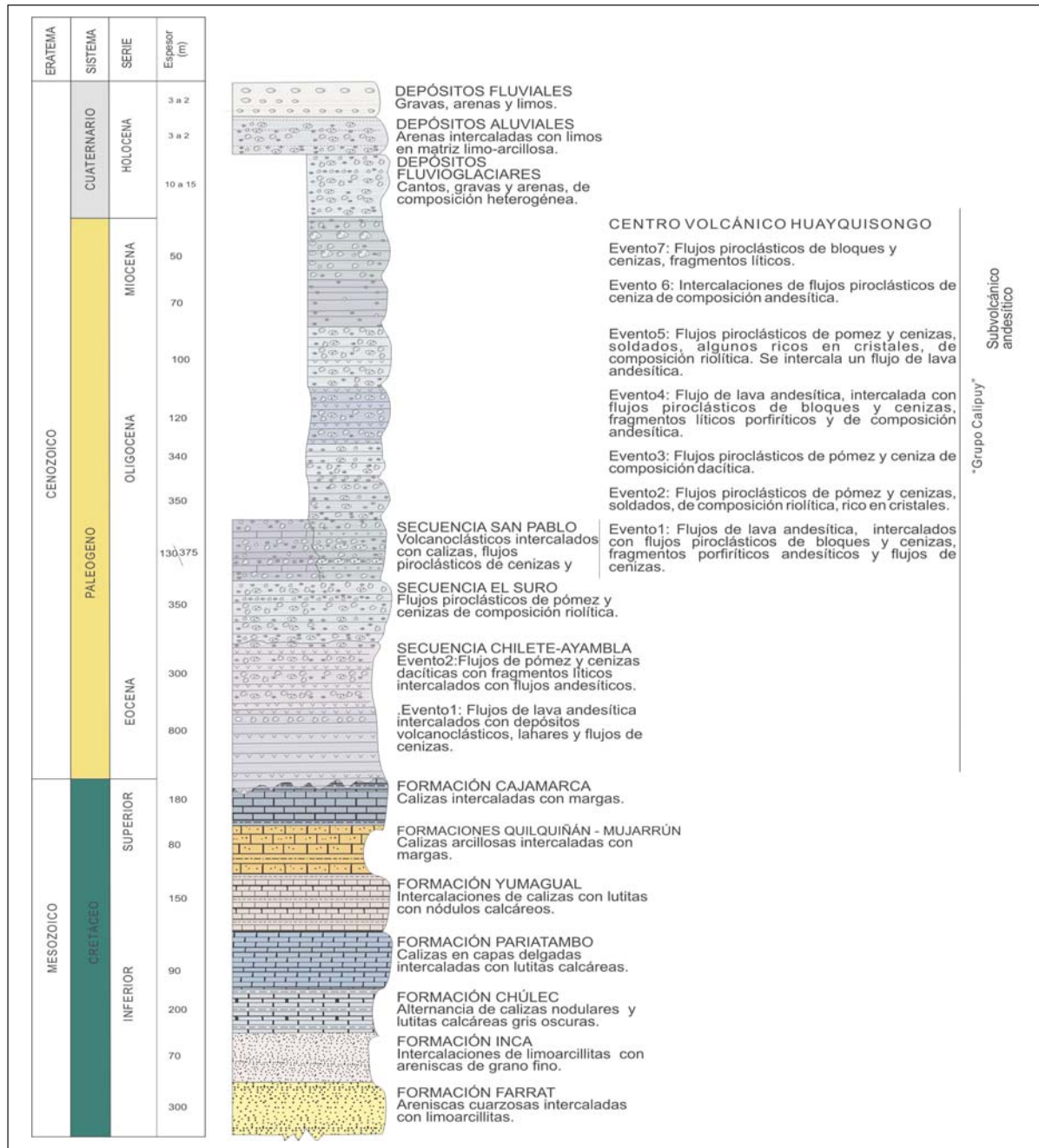


Figura 2. Esquema de la columna estratigráfica en la cuenca Llaminchán.

En la cuenca se presentan dos climas: semi-cálido-seco casi todo el año de Chilete hasta las cercanías de San Bernardino, mientras que en la parte media-alta (San Bernardino a San Pablo) es templado-húmedo. La precipitación varía con la altura, teniendo un promedio anual en la parte baja de la cuenca de 140 a 420 mm, mientras que en la parte alta esta sobrepasa los 600 mm (INRENA – PEJEZA, 2004).

Sobre las geoformas observadas en la cuenca Llaminchán se han diferenciado tres unidades geomorfológicas: vertiente, valle y altiplanicie. La zona de vertiente está condicionada por la tectónica, presentando

potentes crestas, empinadas a escarpadas y esta cortada por una red de drenaje ligada a un sistema de fracturación de dirección noreste-suroeste. La zona de valle ha sido modelada por el río Llaminchán y sus afluentes. La zona de altiplanicie está restringida a la cabecera noreste de la cuenca.

Geológicamente, Las rocas mas antiguas que conforman el substrato local de la cuenca hidrográfica de Llaminchán son secuencias silicoclásticas del Cretácico inferior del Grupo Goyllarisquizga. Estas se encuentran cubiertas por rocas carbonatadas del cretácico inferior tardío de las formaciones Chulec y

Pariatambo, así como de la Formación Cajamarca del Cretácico superior. Sobreyaciendo a las unidades anteriormente descritas y en discordancia angular, se tienen niveles de capas rojas de edad paleocena-eocena. Dichos niveles epiclásticos infrayacen discordantemente a secuencias volcánicas del Eoceno-

Mioceno, que conforman el dominio volcánico del área. La cobertura cuaternaria está representada por depósitos fluvio-glaciares, aluviales y fluviales. En la Figura 2, se puede apreciar la columna estratigráfica en detalle de la zona de estudio.

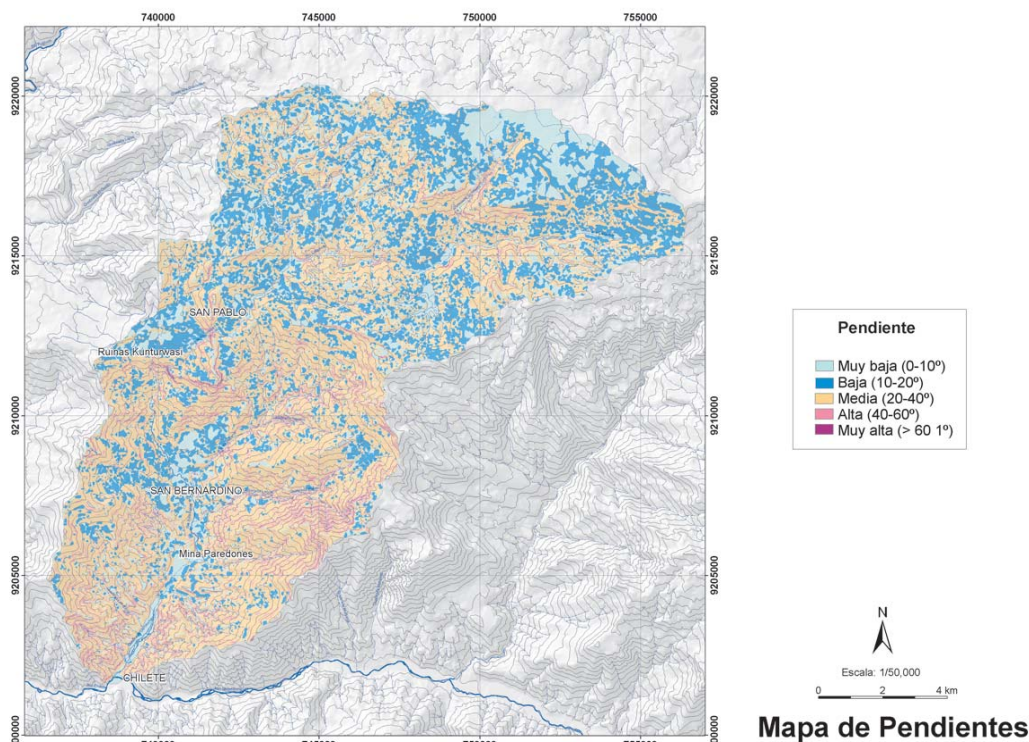


Figura 3. Mapa de pendientes

METODOLOGÍA

La metodología seguida para el desarrollo del presente estudio, se ha desarrollado en cuatro fases. La primera de ellas ha comprendido los trabajos preliminares que ha consistido en recopilar, revisar y clasificar la información existente, elección de escala de trabajo, delimitación de la zona de estudio; interpretación de fotos aéreas y preparación de mapas preliminares que se usaron en los trabajos de inventario y cartografiado de procesos superficiales.

La segunda etapa, ha consistido en el inventario de lugares afectados por movimientos de ladera, mediante el uso de fichas de campo (INGEMMET, 2005) donde se ha acopiado una serie de observaciones geológicas, estructurales y geotécnicas. Asimismo se ha realizado cartografiado de procesos superficiales a escala 1/25,000, donde los procesos de remoción más notables observados in situ se demarcan con polígonos cerrados (zona de arranque y depósito). En total se han inventariado 91 movimientos de ladera.

La tercera etapa, ha consistido en la preparación de las bases de datos espaciales con la información

obtenida en las fases anteriores. Para ello, se ha digitalizado mapas, uniformizado formatos y organizado la información espacial.

En la cuarta y última etapa, se ha realizado el análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el uso del método de combinación de factores del IGME (Laín y otros, 2005). La escala elegida ha sido 1/50,000. Para definir las unidades litológicas (desde el punto de vista de la geotecnia) se han empleado variables o factores condicionantes como pendiente; litología, grado de fracturación e hidrogeología. Igualmente, se han diferenciado los tipos de movimientos de ladera, velocidad y volumen movilizable por los procesos.

Pendiente

Uno de los aspectos importantes en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera es la pendiente de los terrenos, debido a que favorece a la ocurrencia de fenómenos gravitacionales.

El mapa de pendientes de la cuenca del río Llamínchán (figura 3) se ha elaborado usando mapas

topográficos con curvas de nivel cada 25 metros, de las que se generó un Modelo Digital de Elevación del cual se generó el mapa de pendientes calculado como un gradiente de elevaciones.

Para este trabajo, se han diferenciado cinco tipos de pendientes, muy baja, baja, media, fuerte y muy fuerte, todas ellas apropiadas para la escala de trabajo debido a que no exceden los márgenes de error provenientes del MDE.

Litología, geotecnia e hidrogeología

La litología, geotecnia e hidrogeología, se ha considerado en la agrupación de tipos de rocas como unidades litológicas (figura 4). Para ello se ha tomado como base información geológica actualizada al 2006 (Navarro y otros, 2006); información hidrogeológica proveniente del “Estudio Hidrogeológico de la cuenca Jequetepeque” (Peña y Vargas, 2007)

y de la “Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Jequetepeque, regiones de Cajamarca y la Libertad” (Vargas, 2007); así como datos geológico-estructurales y geotécnicos tomados en el campo. Los y unidades grupos litológicas y sus sub-unidades se muestran en la tabla 1.

Tipo de movimientos observados

En la zona de estudio los movimientos de ladera observados son principalmente de orden simple y complejos en menor porcentaje.

Los movimientos de ladera de orden simple son de fase aérea y de fase terrestre. Los de fase aérea están representados por desplomes y desprendimientos como el desprendimiento de andesitas fracturadas, a lo largo de la carretera Chilete-San Bernardino, entre Chilete y La mina Paredones (foto 1).

Tabla 1. Características litológicas, hidrogeológicas y geotécnicas de las unidades litológicas de la cuenca Llamínchán.

Grupo	Unidad Litológica	Unidad Geológica	Tipo de material	Hidrogeología	Capacidad portante (CBR)	Calidad (RMR)
Depósitos Superficiales	DS1	Depósitos aluviales	Depósitos aluviales	Acuitardo semiconsolidado	Regular a buena	
	DS2	Depósitos de remoción en masa	Depósitos de remoción en masa			
	DS3	Depósitos eluviales	Depósitos eluviales	Acuífero poroso no consolidado	Regular a mala	
	DS4	Depósitos fluviales	Depósitos fluviales		Mala	
	DS5	Depósitos fluvio-glaciares	Depósitos fluvio-glaciares		Regular a mala	
Rocas Sedimentarias	RS1	Formación Farrat	Areniscas cuarzosas	Acuífero fisurado sedimentario		Mala a regular
	RS2	Formación Quilquiñan-Mujarrum, Chulec, Pariatambo y Yumagual	Lutitas, limos, calizas y margas	Acuitardo sedimentario		Regular a buena
	RS3	Formación Inca	Areniscas y lutitas ferruginosas			regular
	RS4	Formación Cajamarca	Calizas	Acuífero kárstico		Mala a regular
Rocas Volcánicas	RV1	Secuencia Chilete, evento 1	Flujos lávicos y subvolcánicos andesíticos.	Acuitardo volcánico		Buena a muy buena
	RV2	Secuencia Chilete 1 fracturada	Lava andesítica fracturada y alterada.	Acuífero fisurado volcánico		mala a regular
	RV3	Secuencias Chilete2, El Suro y Huayquisongo1	Flujos piroclásticos dacíticos y andesíticos de bloques, pómez, cenizas y lahares.	Acuitardo volcánico		
	RV4	Secuencia Huayquisongo7	Flujos piroclásticos dacíticos de bloques y cenizas con fragmentos líticos.			
	RV5	Secuencias Huayquisongo2 y 3	Flujos piroclásticos dacíticos y riolíticos de pómez y cenizas.			
	RV6:	Secuencia San Pablo	Depósitos volcanoclásticos de flujos de cenizas intercalados con capas de caliza y lahares.	Acuífero fisurado volcánico		



Foto 1. Desprendimiento de rocas entre Chilete y la mina Paredones.

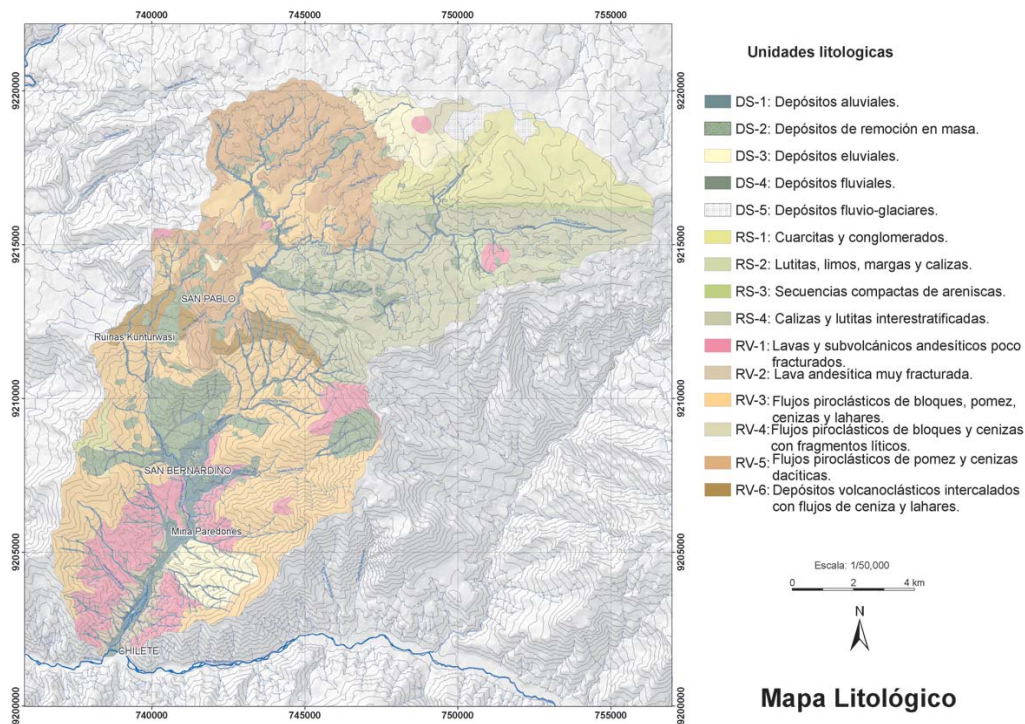


Figura. 4. Mapa de unidades litológicas.

Los de fase terrestre están representados por deslizamientos, flujos y reptación de suelos, como por ejemplo se ha observado en Santa Rosa de Unanca donde un deslizamiento rotacional afectó un tramo de la carretera Santa Rosa de Unanca-Llanavaco

(foto 2); en la quebrada San Nicolás, frente a la mina Paredones donde se observó vestigios de un flujo de lodo (foto 3), y en el sector Lachiconga donde se produce reptación en una zona de pastizales en la Trocha carrozable San Pablo-Callancas.



Foto 2. Deslizamiento rotacional en la trocha carrozable Santa Rosa de Unanca-Llanavaco.



Foto 3. Flujo de lodo de la quebrada San Nicolás.

Los movimientos de ladera de orden complejo representan un pequeño porcentaje del total de procesos observados y corresponden en su mayoría a movimientos sucesivos del tipo deslizamiento-flujo como el que se observó en el sector de Sarapacha, el cual es un evento antiguo, con poca probabilidad de reactivarse si se mantienen las condiciones actuales del sitio.

Velocidad de los procesos observados

En el área de estudio se ha agrupado en tres grupos a las unidades litológicas de acuerdo a como se presentaron las velocidades de los movimientos de ladera en ellas.

Se ha considerado en el primer grupo (velocidad de lenta a moderada) a los materiales escasamente afectados por inestabilidades que además aparecen dispuestos en áreas de escasa pendiente. Tenemos aquí a las unidades RS1, RS3, DS4 y DS5.

En el segundo grupo las velocidades varían de moderada a muy rápida y se ha considerado aquí a los materiales que presentan movimientos de ladera principalmente del tipo deslizamientos. Las unidades aquí son RS4, DS1, RV1, RV4 y RV6.

En el tercer grupo las velocidades son muy rápidas a extremadamente rápidas y se ha considerado a

los materiales que presentan movimientos de ladera principalmente del tipo flujos de detritos, desprendimientos y derrumbes. A esta unidad corresponden: DS2, DS3, RS2, RV2, RV3 y RV5.

Volumen movilizable por los procesos

De acuerdo al volumen de masa inestable que podría movilizarse a causa de estos fenómenos, se ha subdividido a las unidades litológicas en dos grupos:

Materiales con volúmenes movilizables muy pequeños a pequeños, correspondiente a materiales escasamente afectados por inestabilidades correspondiendo a rocas sanas y escasamente diaclasadas que aún cuando podrían generar grandes bloques su probabilidad de caída es reducida. Pertenecen a este grupo las unidades: RS1, RS2, RS3, RS4, RV1, RV3, RV4 y DS4.

Materiales con volúmenes movilizables pequeños a grandes, que agrupa al resto de materiales, correspondiendo a depósitos cuaternarios de ladera, materiales erosionables y rocas fracturadas que han sido afectados por inestabilidades con más frecuencia. A este grupo pertenecen: DS1, DS2, DS3, RV2, RV5 y RV6.

ANÁLISIS MEDIANTE SIG

El análisis mediante SIG, se empezó transformado la información de vectorial a matricial para poder hacer las operaciones algebraicas, debido a que en formato vectorial solo se pueden hacer operaciones de geoprocésamiento. Luego se construyó la matriz de susceptibilidad a los movimientos de ladera según los criterios del IGME adecuados a la geología de la cuenca Llaminchán (Lain y otros, 2005).

Matriz de susceptibilidad

Se utiliza para localizar las combinaciones entre pendiente y litología y ponderarlas. El rango de valores arbitrarios usados en las ponderaciones es de 1 a 5 para identificar con facilidad el significado de la susceptibilidad creciente, es decir, el valor 1 corresponde a una susceptibilidad “muy baja” y 5 a “muy alta” (tabla 2). Por ejemplo si consideramos la unidad RS1 y una pendiente menor de 10 grados el valor asignado sería 1 porque en ese rango de pendiente las rocas de dicha unidad desarrollarían raramente movimientos de ladera. Posteriormente esta matriz se volcó en los mapas en formato raster para realizar el álgebra de capas e integrar las coberturas de unidades litológicas y pendientes con sus respectivos atributos de identificación, se obtuvo como resultado el mapa suma de factores que se reclasifica para obtener el mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera (figura 7). En la tabla 2 se muestra la matriz síntesis asociada a dicho mapa.

Tabla 2. Matriz síntesis del mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca Llaminchán.

Matriz de susceptibilidad	Unidades litológicas										
		RS3	DS4	RV6	RV4, DS5	RS1, RV1, RV5, DS3	RV3	RS4, RV2	DS1	RS2	DS2
Pendientes	< 10°	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	10 a 20°	1	1	2	1	2	3	3	2	3	2
	20 a 40°	1	2	2	2	3	3	4	3	3	4
	40 a 60°	2	3	3	4	4	4	4	4	5	5
	> 60°	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han inventariado 91 movimientos de ladera, de los cuales, un mayor porcentaje pertenece a movimientos con fase terrestre y corresponden a deslizamientos (36%), siguiendo en importancia movimientos con fase aérea con un porcentaje de 29% correspondiente a caídas. En menor porcentaje se tiene otros procesos como los flujos (20%), reptación (10%) y movimientos complejos (5%, figura 5).

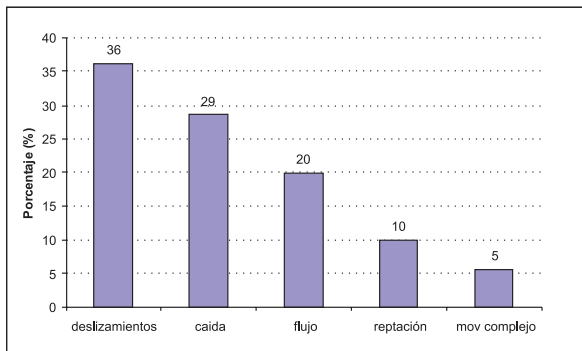


Figura 5. Porcentaje del número de movimientos de ladera registrados en el inventario.

Respecto a la litología, observando la variación del porcentaje de movimientos de ladera con respecto a las unidades litológicas, se puede notar que existe un mayor porcentaje en la unidad RV3 (Volcánico Huayquisongo, secuencia 1, Chilete segundo evento y Secuencia El Suro) con el 26% del número total de fenómenos inventariados; seguidos por un 20% correspondiente a la unidad DS1 (depósitos aluviales) y siguiendo las unidades RV5 (Volcánico Huayquisongo, secuencias 2 y 3) y RS4 (formaciones Cajamarca, Chulec, Pariatambo y Yumagual) ambas con 17% (figura 6).

De acuerdo a los aspectos morfométricos (pendientes), se observó un mayor porcentaje de movimientos de ladera en pendientes medias (entre 20 y 40°), seguidas de pendientes bajas (10 a 20°), altas (40 a 60°) y muy altas (> 60°); siendo mucho menos abundantes en pendientes muy bajas (0 a 10°).

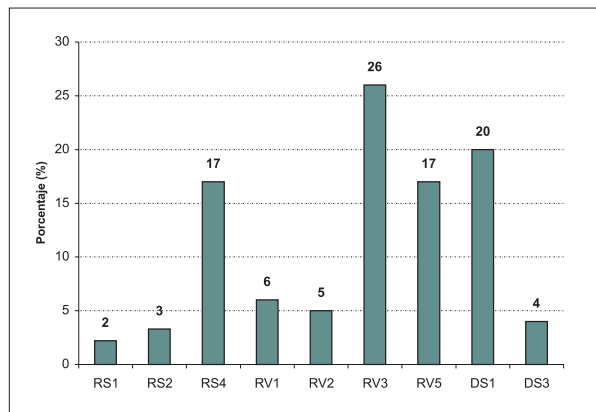


Figura 6. Porcentaje del número de movimientos de ladera respecto a las unidades litológicas.

En lo que se refiere a los aspectos hidrogeológicos, en el área de estudio los mayores porcentajes en número de movimientos de ladera se han registrados en unidades del tipo acuitardo volcánico (52 %); acuitardo semiconsolidado (21 %) y acuífero kárstico.

Susceptibilidad a los movimientos de ladera

De acuerdo al mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera, se puede decir que la mayor parte del territorio de la cuenca presenta una susceptibilidad baja a media. Las zonas con grado de susceptibilidad alta a muy alta corresponden a terrenos que presentan una pendiente fuerte a muy fuerte y están en las márgenes de las quebradas tributarias principalmente en la cuenca media.

Las zonas donde el material es de mala calidad como es el caso de los volcánicos de las unidades RV3 y RV4, presentan una susceptibilidad media a alta. La razón de que el mayor número de movimientos de ladera registrados se presente en rocas volcánicas es que en la zona de estudio la mayoría de estas presentan niveles arcillosos.

Muchas de las zonas de rupturas coinciden con zonas de fracturación y zonas de contacto entre las litologías mencionadas o rocas alteradas hidrotermalmente; así como a depósitos de eventos anteriores.

Sobre la susceptibilidad de centros poblados, se ha observado que San Bernardino, se encuentra en una zona de baja a media susceptibilidad mientras que San Pablo se localiza en un territorio con susceptibilidad media a alta. Adicionalmente se puede decir que el centro arqueológico de Kuntur Wasi se ubica en una zona de mediana susceptibilidad.

Los cerros Calaquis y Llamadón, ubicados a 700 y 500 m al NE de la ciudad de San Pablo, por su fuerte pendiente y porque en sus faldas se tienen depósitos de deslizamientos muy antiguos sobre un substrato volcánico constituido por tobas con algunos niveles de lavas andesíticas intercaladas con sedimentos arcillosos fácilmente erosionable (tobas).

El cerro Callancas por su fuerte pendiente y el intenso fracturamiento de las calizas, en este sector. Afecta la trocha carrozable San Pablo-Iglesiapampa-Pozo Seco, acceso alterno a la ciudad de Cajamarca.

La zona ubicada al norte de Santa Ana, ladera sur del cerro Casahocro, porque constituye la escarpa de un deslizamientos muy antiguo. Tiene una fuerte pendiente y el substrato esta constituido por una gruesa secuencia de tobas que en la zona se encuentran fracturadas.

La parte alta del sector Pueblo Libre El Naranjo, flanco oeste del cerro Sujllasta, límite este de la cuenca. Este sector constituye la escarpa de un antiguo depósito de remoción y posee una fuerte pendiente.

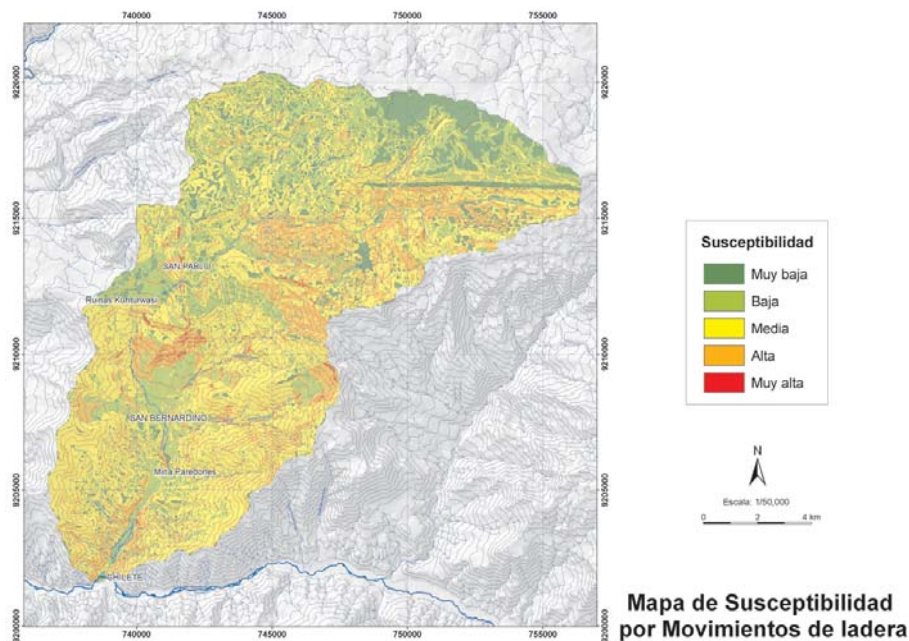


Figura 7. mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera.

La zona ubicada a 1 km al sur de la mina Paredones, en ambas márgenes del río Llaminchán. En esta zona el substrato está constituido por lavas andesíticas que se encuentran intensamente fracturadas y falladas. Al hacer los cortes de carretera se produjeron derrumbes y desprendimientos. Puede afectar la carretera afirmada Chilote - San Bernardino.

Contribución a la prevención en la región

Los resultados del presente estudio, serán presentados a las autoridades y población de la región Cajamarca como información geocientífica que contribuirá en planificación territorial y en la elaboración de planes de acción para el tratamiento de áreas afectadas en la cuenca. Para ello se ha preparado un mapa póster a escala 1/25,000 que se entregará en versión papel (1 ejemplar) a los representantes de la provincia. Se

tendrá el documento original en versión digital en la base de datos de la Dirección de Geología Ambiental del INGEMMET para cuando se requiera más copias. Cabe resaltar que a través del INGEMMET se realizará un taller dirigido a la población en general en el distrito de San Pablo capital de la provincia que alberga el territorio de la cuenca Llaminchán. Asimismo esta metodología será puesta a disposición del INGEMMET para compararla con los métodos aplicados a la actualidad y distinguir cual se adecua mejor a las condiciones de sitio de los próximos estudios sobre cuencas hidrográficas a realizarse a nivel nacional.

CONCLUSIONES

El inventario y cartografiado de movimientos de ladera son herramientas que proveen de información

confiable a los modelos de susceptibilidad a dichos fenómenos.

El método usado es ventajoso debido a su fácil uso, breve tiempo en el procesamiento de datos espaciales y porque es costo-eficiente.

La elaboración de una matriz de susceptibilidad es de mucha utilidad para ponderar las relaciones existentes entre unidades litológicas y rangos de pendientes.

Las bases de datos estandarizadas permiten optimizar el análisis de la susceptibilidad por movimientos de ladera mediante SIG.

La susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca Llaminchán, está relacionada directamente a las pendientes y litología de la zona.

Las zonas con más alta susceptibilidad se encuentran al noreste de la ciudad de San Pablo (Cerros Llamadón y Calaquis), el flanco sur del Cerro Callancas, el sector norte del poblado Santa Ana, la parte alta del sector Pueblo Libre-El Naranjo (Ladera oeste del cerro Sojllasta) y la zona comprendida entre Chilete y la mina Paredones (laderas en ambas márgenes del río Llaminchán).

RECOMENDACIONES

Para mejorar las ponderaciones Pendiente vs. Litología y reducir la subjetividad, es necesario consultar la opinión independiente de otros expertos.

Para optimizar el resultado de susceptibilidad se recomienda trabajar con geología y topografía con mayor detalle aunque la escala de presentación sea menor.

Los encargados del análisis de susceptibilidad a los movimientos de ladera, deben ser geólogos especialistas en la materia, con amplio criterio geológico y que dominen software SIG.

Para planificar la expansión urbana de los centros poblados de San Pablo, deberá tomarse en cuenta el criterio de susceptibilidad y observar las zonas de alta a muy alta susceptibilidad a los movimientos de ladera.

Se recomienda hacer un estudio local de estabilidad de taludes en los cerros Llamadón y Calaquis, que se encuentran en los alrededores de la ciudad de San Pablo, pues según el mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera esas zonas son de alta a muy alta susceptibilidad.

Se recomienda evitar ubicar viviendas en los cauces de las quebradas cercanas al centro poblado de San Bernardino.

Se recomienda efectuar un estudio de la peligrosidad en la zona comprendida entre Chilete y la mina Paredones,

considerando además de los parámetros descritos en este estudio, la precipitación y sismicidad por ser ésta un área de susceptibilidad a los movimientos de ladera alta a muy alta y porque afecta una de las vías de acceso principales de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades del IGME, INGEMMET y de la Red DESIR por el apoyo y facilidades brindadas durante la realización de este trabajo. Asimismo agradecen a todos los profesionales que contribuyeron con información para el desarrollo de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayala-Carcedo, F.; Olcina, J. (2002). Riesgos Naturales. Editorial Ariel, colección Ciencia, Barcelona, 1304 pp.
2. Cruden, M., Varnes, J. (1996). Landslide Types and Processes. En: Turner, A.K. y Schuster, R.L., 1996: Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 675 p.p.
3. INRENA-Pejeza (2004). "Plan de ordenamiento, manejo ambiental y desarrollo social en la cuenca media y alta del río Jequetepeque para la protección del embalse Gallito Ciego". 3 vol. Lima.
4. Peña, F., Vargas, V. (2007). Estudio hidrogeológico de la cuenca Jequetepeque. Publicación INGEMMET. Lima, Perú. Inédito.
5. Laín, L. Llorente, M. Díez, A. Rubio, J. Maldonado, A. Galera, J. Arribas, J. (2005) Mapas de peligrosidad geológica en el termino municipal de Albuñol. Publicación IGME. Granada, España. 162 pp. Inédito.
6. Vargas, V. (2007). Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Jequetepeque, regiones de Cajamarca-La Libertad. Tesis de grado. Ingeniería Geológica. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
7. Navarro, P., Monge, R. y Flores, C. (2006). Volcanismo Cenoico (Grupo Calipuy) y su Asociación con los Yacimientos Epitermales, de la Región Norte del Perú. INGEMMET. Lima. Inédito
8. INGEMMET (2005). Riesgo Geológico en la Franja N° 4, Latitud 10° a 12 °. Boletín INGEMMET Serie C. 386 Pags., 19 Mapas a escala 1:900,000, 21 Figs., 49 Cuadros. Lima Perú.